

等能量、等贯入度控制的挤密碎石桩复合地基介绍

孙玉文 王继忠 蔺忠彦 葛宝亮
(北京波森特岩土工程有限公司 102218)

[提要] 等能量等贯入度夯扩挤密碎石桩是近年来发明的一种地基处理的施工工艺。详细介绍了该技术的加固原理、设计计算、施工设备、施工工艺及检测方法。该技术在提高地基土承载力的同时,还解决了地基的不均匀沉降问题,有效地消除了地基土层的湿陷性、膨胀性和液化现象,是一项值得大力推广的施工工艺。

[关键词] 等能量 等贯入度 挤密碎石桩 桩土应力比 压缩模量 承载力

Introduction of the Compaction Gravel Pile Constructed by Equal Energy and Equal Penetration Method/Sun Yuwen, Wang Jizhong, Lin Zhongyan, Ge Baoliang (Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China)

Abstract: The compaction gravel pile constructed by equal energy and equal penetration method is a new technology. The strengthen principle, design, and equipment and the construction technics and test method of the technology are presented. This technology can increase the bearing capacity of the ground as well as decrease the different settlement, collapsibility, expansion and liquefaction of the ground.

Keywords: equal energy; equal penetration; compaction gravel pile; area ratio of piles to soil; modulus of compression; bearing capacity

随着经济建设的发展,需要人们将原来的取土、砂、石料的坑填平后,用做建筑物或构筑物的地基。该地基回填时间有长有短,回填厚度不一,分布范围广,组成成分复杂,堆积自重固结差,在水文条件发生变化时,又具有很强的湿陷性,不能直接作为建筑物、道路路基及桥梁基础的地基使用,必须采取相应的工程技术措施进行加固处理,才能保证其作为地基所具有的密实稳定的力学特性和压缩特性,满足承载力的设计要求和沉降控制的要求。等能量、等贯入度碎石桩是近年来发明的一种地基处理方法,下面较详细地介绍该方法的加固原理、设计计算、施工设备、施工工艺及检测方法。

一、挤密碎石桩地基的原理

等能量、等贯入度控制挤密碎石桩复合地基以重锤做自由落体运动所形成的强大夯击能量成孔到设计标高,以填料为载体,通过重锤对填料的夯击挤密作用,使原状松散或软弱的土体中的空气和孔隙水强行排出,使土体结构重新固结,实现土体的挤密(快速固结)。在夯击填料夯击的过程中,由于每次提升重锤高度相同,故每次夯击能量相同,在地基无侧向挤出或隆起的情况下,通过夯击使土体达到最大限度地挤密加固,并以一击的贯入量作为达到挤密效果的控制指标,故称为等能量、等贯入度控制挤密碎石桩。自桩底设计深度处开始,每一层均按照等能量、等贯入度进行控

制,逐层填料和夯击形成自下而上由多个挤密层组成的桩体。碎石桩桩身在受力过程中既起到分担荷载作用,又能作为孔隙水消散的通道作用,并且在成桩工程中土颗粒重新排列,消除了原地基土的液化特性,故该工艺对处理存在液化的地基土是一种特别有效的方法。

二、挤密碎石桩地基的设计

根据场地的工程地质条件和建筑物的结构特点,挤密碎石桩的布置形式可采用等边三角形、矩形和正方形。

根据工程需要,由试成桩的填料量和设备确定桩身直径,一般为500~600mm。

在进行初步设计时,复合地基承载力特征值按下式进行估算:

$$f_{spk} = mf_{pk} + (1 - m)f_{sk} \quad (1)$$

式中: f_{spk} 为复合地基承载力特征值(kPa); f_{pk} 为桩体承载力特征值,宜通过单桩载荷试验确定(kPa); f_{sk} 为处理后桩间土承载力特征值,宜按当地经验取值,如无经验时,可取天然地基承载力特征值(kPa); m 为面积置换率; D 为桩身平均直径(m); d_e 为单根桩分担的处理地基面积的等效圆直径(m)。当按等边三角形布桩时: $d_e = 1.05S$;当按正方形布桩时: $d_e = 1.13S$;当按矩形布桩时: $d_e = 1.13\sqrt{S_1S_2}$,其中, S, S_1, S_2 分别为桩间距、纵向间距和横向间距。

也可采用桩土应力比进行估算,如下式

$$f_{spk} = [1 + m(n-1)]f_{sk} \quad (2)$$

式中: n 为桩土应力比, 在无实测资料时, 可取 2~6。

复合土层的压缩模量可按式计算:

$$E_{sp} = [1 + m(n-1)]E_s \quad (3)$$

式中: E_{sp} 为复合土层的压缩模量(MPa); E_s 为桩间土压缩模量, 宜按当地经验取值, 如无经验时, 可取天然地基压缩模量(MPa)。

三、施工设备、施工工艺及施工质量控制参数

1. 施工设备

施工设备为 WJZ-I 型、WJZ-II 型等系列夯扩桩机, 如图 1 所示。由液压步履式行走底盘、门式框架、细长锤、钢护筒、主副卷扬机及配电箱等组成。细长锤配备重量为 15~50kN 的柱状实体锤, 锤径为 250~500mm。

施工现场应配备的其它仪器、器材及设备包括: 1) 水准仪、经纬仪、塔尺、钢尺、木桩、小线等测量仪器及器材; 2) 小型矿车、小型装载机和小推车; 3) 焊接等维护修理设备。



图 1 施工设备

2. 施工工艺

施工工艺流程为: 1) 清理并平整场地, 查明有无地下管线从场地内穿过; 2) 施工准备, 进行施工放线、验线, 检查、调试施工设备; 3) 桩机就位, 使重锤中心对准桩位中心, 调平桩机并支牢、固定, 使重锤的垂直偏差小于 1%; 4) 锤击成孔, 提起重锤一定高度, 令其自由下落, 冲击地基土体成孔, 至设计(或控制)深度; 5) 向孔内填一定数量(一般为 0.1~0.2m³, 即一至两小推车的填料(渣土或碎石等), 提起重锤一定高度, 对填料进行多次夯击; 6) 在标准夯击能量的作用下, 实测重锤最后的一击贯入量, 当不大于设计要求时, 再重复步骤 5; 7) 重复步骤 5, 6, 将桩孔夯填至地面(或设计槽底标高以上 0.50m 处); 8) 按照设计施工图的布置和间距要求, 重复步骤 3~7, 完成整个场地的施工; 9) 当完成整个场地的施工后 14d 后, 进行效果检测。

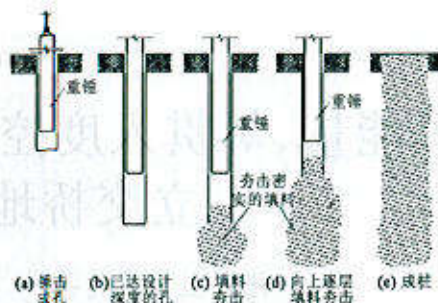


图 2 施工工艺示意图

3. 施工质量控制参数

- (1) 桩位偏差不大于 ±50mm。
- (2) 重锤的垂直偏差不大于 1%。
- (3) 桩孔的设计(或控制)深度采用双标准控制, 一是按照设计要求, 结合《岩土工程勘察报告》中的地质剖面所揭示的深度进行深度控制; 二是实测孔底的最后一击贯入度, 根据试验成孔的贯入度标准控制桩孔的深度。
- (4) 在填料的夯实挤密的过程中, 在一定夯击能量作用下, 采用最后一击的贯入度相等标准控制桩体的密实度, 最后一击的贯入度不大于 15cm。

四、检测方法

对于复合地基的处理效果可采用重 II 动力触探试验和静载荷试验两种检测方法。用重 II 动力触探试验检测不同深度处的处理效果和密实度; 用平板静载荷试验进行抽测点检验, 测试处理后的地基承载力和回弹模量, 用两种检测方法进行相互补充和验证, 以全面反映整个场地的处理效果。

1. 重 II 动力触探试验

重 II 动力触探试验是采用标准贯入试验探头和设备, 沿深度方向进行检测, 记录每贯入 10cm 的锤数 $N_{63.5}$ 。落锤重 63.5kg, 落距 76cm, 操作按现行国家标准的有关规定执行。

重 II 动力触探用来检测处理后的地基是否均匀, 检测加固影响深度。

2. 静载荷试验

静载荷试验用来检测处理后地基的承载力标准值是否达到设计规定的承载力要求。

平板静载荷试验采用压重平台做反力装置, 配重放在平台上, 重量不小于承载力标准值的 2.4 倍。主梁与多根工字钢组合在一起使用, 用配套油压千斤顶施加压力, 利用 RS-JYB 桩基静载荷测试分析系统自动记录, 试验时在承压板四周均匀布置 2~4 只位移传感器, 观测沉降量。平板静载荷试验按《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2001) 和《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 执行。

(下转第 63 页)

毕后基础的沉降,分别对各桥头进行沉降观测。将观测点安装在复合地基褥垫层底面,将沉降观测点安装于复合地基褥垫层的底部,在路中心布置。沉降观测点由钢筋混凝土底板、金属测杆和保护套管组成。保护套管尺寸以能

套着测杆为宜,随着填土的增高,测杆和套管也相应接高,每节长度为50cm,采用了方板加竖向钢管的形式,方板尺寸为1m×1m×3cm,测杆采用φ4cm的钢管。

通过对桥头填土期间和填土完毕后的沉降观测数据进行统计分析,沉降随时间呈现双曲线型变化,在复合地基施工完毕后100d沉降趋于稳定。通过与CFG桩复合地基和水泥土搅拌桩复合地基的沉降观测数据对比分析,由于桩顶的面积扩大,将上部荷载传到深层土体,降低了地基的变形,图3为北沙河1#桥桥头沉降随时间的曲线,施工完90d后,累计沉降为26.74mm,沉降变化率为0.08mm/d。

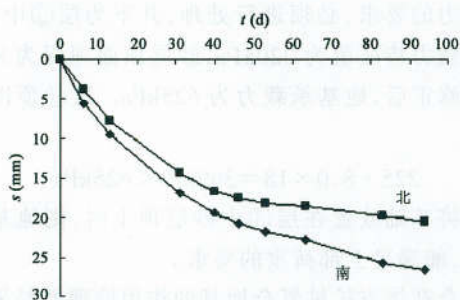


图3 沉降s随时间t变化的曲线

地基沉降随时间变化的曲线接近于双曲线型,通常可以用下式对地基最终沉降进行推算:

$$s_t = \frac{t}{\alpha + t} s$$

式中: s_t 为地基在时间t的沉降(mm),s为地基在荷载作用下的最终沉降(mm)。

根据测量数据采用双曲线可以推算出地基最终沉降为40.7mm,可见实际沉降与理论基本相符。

六、经济对比

由于复合载体夯扩桩单桩承载力高,桩长短,复合地基间距为1.8~2.0m,CFG桩复合地基间距为1.7~1.8m,减少了总桩数,节省了造价,表2为北沙河1#桥桥头高填方地基处理采用不同方案的经济对比。

通过北沙河1#桥桥头地基处理分析,采用扩顶复合载体复合地基比CFG桩复合地基和水泥土搅拌桩

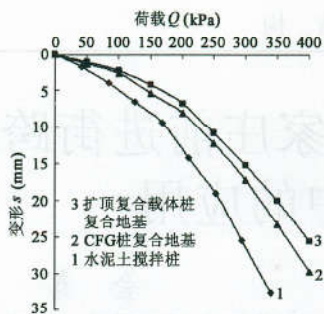


图2 部分静载荷试验Q-s曲线

不同处理方案的经济对比

表2

方案	桩径 (mm)	桩长 (m)	间距 (m)	总桩数 (根)	造价 (万元)
水泥土搅拌桩	500	13.0	1.6	643	44.6
CFG桩复合地基	400	10.0	1.7	574	41.7
扩顶复合载体复合地基	400	6.0	1.8	507	31.5

节约造价20%以上。

七、结论

复合载体夯扩桩不仅可以作为桩基础用于建筑工程的基础中,还可以作为复合地基用于公路工程的路基处理中;由于采用了扩顶工艺,扩顶复合地基在软弱路基的地基处理中,具有较好的处理效果和较低的造价,而且保护了环境。该技术在公路路基工程中有较为广阔的应用前景。

参考文献

1. 复合载体夯扩桩设计规程(JGJ/T135-2001). 中国建筑工业出版社,2001.
2. 建筑地基处理技术规范(JGJ79-2002). 中国建筑工业出版社,2002.
3. 公路软土地基路堤设计与施工技术规范(JGJ017-96). 人民交通出版社,1997.

(上接第69页)

3. 复合地基回弹模量的计算

复合地基回弹模量按照下式进行计算:

$$E_0 = \frac{\pi p d}{4s} (1 - \mu^2)$$

式中: E_0 为回弹模量(MPa); d 为承压板直径(m); s 为承压板的沉降量(mm); p 为承压板压力(kPa); μ 为地基土泊松比。

五、结语

针对回填时间短、回填厚度大、组成成分复杂、堆积自重固结差的杂填土地基,采用等能量等贯入度夯扩挤密渣土(碎石)桩进行加固处理,是一种很有效的地基处理技术。它可以根据处理要求,对不同深度的土体进行加固,将不均匀地基调整为均匀地基,在提高地基土承载力的同时,还解决了地基的不均匀沉降问题,有效地消除地基土层的湿陷性、膨胀性和液化现象,是一项值得大力推广的施工工艺。

参考文献

1. 顾晓鲁等. 地基与基础. 中国建筑工业出版社,2003.
2. 江正容. 地基与基础施工手册. 中国建筑工业出版社,1997.
3. 建筑地基处理技术规范. 中国建筑工业出版社,2001.